



ISSN 0378 - 7702

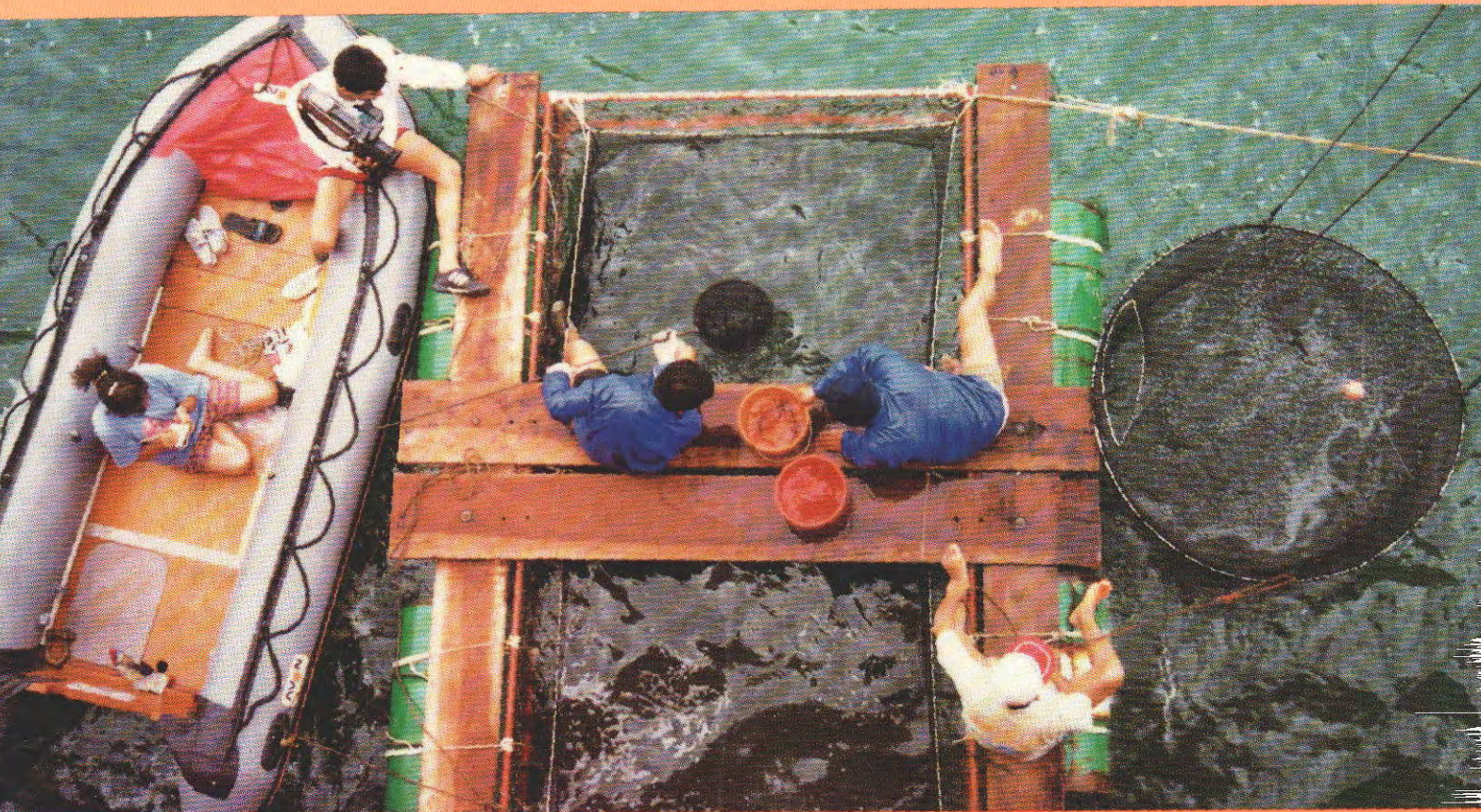
INSTITUTO DEL MAR DEL PERU

INFORME

Nº 133

Abril, 1998

Experimentos de medición de la fuerza de blanco de anchoveta empleando peces vivos; y evaluación hidroacústica de recursos pelágicos. Crucero BIC Humboldt 9711 de Huacho a Pacasmayo



*Con apoyo del Programa de
Cooperación Técnica para la Pesca
CEE-VECEP ALA 92/43*

Callao, Perú

ACÚSTICA PESQUERA Y DEL PLANCTON: PASADO, PRESENTE Y FUTURO*

David N. MacLennan¹ D.V.Holliday²

INTRODUCCIÓN

El éxito del Simposio sobre Acústica Pesquera desarrollado en Aberdeen en junio de 1995 demostró un fuerte y continuo interés en el tema de la Acústica Pesquera y del Plancton, tal como se mostró en el volumen publicado por ICES con motivo de tal certamen. El Simposio fue también una oportunidad para revisar los logros del pasado, los problemas del presente y las perspectivas futuras. Este documento es una corta revisión, desde nuestro personal punto de vista, basada en las exposiciones que hicimos durante la inauguración y clausura del evento.

Una breve historia

La historia de la hidroacústica se remonta 50 años con el trabajo pionero de Oscar Sund en Noruega y Ronnie Balls en Inglaterra. Las primeras ecosondas eran muy limitadas, sólo podían mostrar la presencia o ausencia de peces. Pero lo que llamamos la era moderna comenzó en la década del 60, cuando los contadores de ecos y los ecointegradores fueron usados por primera vez para determinar la abundancia de peces.

Una buena manera de revisar el desarrollo acústico de los últimos 30 años es a través del recuerdo de las grandes conferencias científicas ocurridas en aquel período. La serie comienza con las dos conferencias de Bergen en 1973 y 1982. La tercera fue la reunión de Seattle en 1987 y la cuarta y última, al momento, la de Aberdeen en 1995. Viendo los documentos publicados a raíz de todas las reuniones, es interesante apreciar como han cambiado los aspectos de mayor interés.

Al momento de la conferencia de Bergen en 1973, la idea de la evaluación acústica de las pobla-

ciones de peces era muy nueva, además de que la evaluación acústica como tal no recibía mucha atención. Se publicaron diversos trabajos sobre métodos acústicos relativos a la investigación del comportamiento de los peces, por ejemplo, el uso de pequeñas marcas metálicas en los peces de manera de estudiar sus movimientos. Probablemente la más importante contribución en la conferencia de Bergen en 1973 fue aquella relativa a la Fuerza de Blanco de peces, un tema que no fue bien comprendido en aquel momento. En particular, NAKKEN y OLSEN presentaron sus *precursores experimentos* acerca de la Fuerza de Blanco de peces. Aunque mejores técnicas están hoy en día disponibles y que hasta pueden ser usadas con peces nadando libremente, el documento de NAKKEN y OLSEN continúa apareciendo en las listas de referencia como si fuera el centro de este tema.

La técnica de ecointegración depende de la fundamental asunción de que la dispersión acústica provocada por los peces es un proceso lineal. Esto quiere decir que la energía acústica proveniente de blancos múltiples es la suma de la energía acústica recibida de todos los blancos individuales. Durante la década del 70 hubo argumentos en contrario acerca de la validez del *Principio de Linearidad*. Se argumentó que la distribución de cardúmenes de peces no era lo suficientemente aleatoria como para aplicar el principio de linealidad y que por lo tanto el método de ecointegración no era válido. Era claro que el principio de linealidad tenía que ser probado por medio de un experimento, pero los primeros intentos para hacerlo fracasaron principalmente porque los blancos pasivos que se usaron no reproducían las condiciones de los cardúmenes de peces vivos y libres. KENNETH FOOTE condujo un experimento definitivo empleando peces vivos que demostró

* Traducción: MARIANO GUTIÉRREZ T. Publicado con permiso de los editores del ICES Journal of Marine Science, Vol.53 n°2, April 1996. Fisheries and Plankton Acoustics, ICES Marine Science Symposia, Vol.202.

1 D. N. MacLennan: SOAFD Marine Laboratory, PO Box 101, Victoria Road, Aberdeen, AB9 8DB, Scotland, United Kingdom.

2 D.V. Holliday: Tracor Applied Sciences, Suite 102, 4669 Murphy Canyon Road, San Diego, CA 92123, USA.

que el principio de linealidad era aplicable a densidades típicas de peces, como aquéllas que se encuentran durante las evaluaciones acústicas. FOOTE reportó su experimento de linealidad en la segunda conferencia, en Bergen (1982), llegando a ser el tema más brillante de aquella reunión.

Otro importante avance en la década del 80 fue el desarrollo de métodos precisos para calibrar ecosondas y sonares. Antes de ello, las ecosondas eran calibradas empleando varios métodos, tales como el de los hidrófonos de referencia, pero la precisión era pobre y los errores de calibración llegaban a estar en el orden de 40-50% o aun peor. Sin embargo, se descubrió que las esferas de metal con propiedades acústicas conocidas podían ser usadas como blancos de referencia de manera de producir un eco bien definido el cual es medido para calibrar las emisiones de la ecosonda. A esto se le llama el *Método del Blanco Estándar* y permite realizar calibraciones con una precisión de alrededor de 5%. Hay muchos otros errores en la estimación de la abundancia acústica más grandes que éste, por lo que no es de ninguna manera urgente empeñarse en desarrollar técnicas de calibración aun mejores, al menos para las aplicaciones actuales. Desde la conferencia de Bergen en 1982, las calibraciones de sonares y ecosondas no han vuelto a ser un problema mayor en acústica pesquera a diferencia de lo que había sido en el pasado.

La conferencia de Seattle se desarrolló sólo cinco años después, y hubo, en ese lapso, rápidos progresos. Quizá el más importante avance en la década del 80 fue la introducción de las ecosondas dual-beam y split-beam. Estos instrumentos dan mediciones directas de la Fuerza de Blanco de peces libres en su medio natural, que es lo que se denomina el *método in situ*.

Quedó claro a raíz de las discusiones de Seattle que había necesidad de nuevos enfoques teóricos, para la interpretación de la data acústica proveniente de los instrumentos del tipo dual-beam y split-beam. Se vió que un enfoque estadístico era necesario para poder tomar en cuenta la naturaleza estocástica de la Fuerza de Blanco, la cual puede variar sobre un amplio rango de valores hasta para el mismo tamaño de pez y, en cualquier caso, las poblaciones de peces observadas rara vez son de tamaño constante, de manera que las frecuencias de tallas de los peces insonificados tenían que ser también considerados como un aspecto estocástico adicional. KISSER y EHRENBERG hicieron una importante contri-

bución al debate teórico por medio de su *modelo de ecoconteo estocástico no sesgado* y que fue presentado en la reunión de Seattle. Ellos mostraron que si las estadísticas de la fuerza de blanco y la de la frecuencia de tallas de peces eran ignoradas entonces los estimados obtenidos con modelos no estocásticos, respecto a la abundancia de peces, caían en un serio error.

La reunión de Seattle fue también notable por el interés mostrado respecto a la aplicación de métodos acústicos para resolver nuevos y más difíciles problemas en las ciencias marinas y de agua dulce. Los estudios del plancton y los de peces de agua dulce recibieron mucha atención en comparación con las reuniones anteriores. Se presentaron nuevos e interesantes avances, especialmente el del uso de ecosondas de banda amplia para poder identificar blancos de peces a partir de su registro típico, y se habló, por primera vez, de un enfoque geoestadístico para el análisis de los resultados de evaluaciones.

El presente

Los últimos años, hemos continuado viendo desarrollos innovadores en la tecnología acústica, en el procesamiento de señales, en el diseño de métodos para las evaluaciones acústicas y para el análisis de los resultados de dichas evaluaciones. Las investigaciones del comportamiento de peces ha mejorado nuestra comprensión del por que la fuerza de blanco es un parámetro tan altamente variable. Poderosas técnicas estadísticas han sido aplicadas para mejorar la confiabilidad sobre los estimados de abundancia obtenidos a partir de mediciones acústicas.

Como resultado de estos desarrollos, los métodos acústicos vienen siendo usados en muchas áreas de las investigaciones marinas y de agua dulce. Además, no se peca al decir que la hidroacústica ha madurado hasta convertirse en una respetable técnica de medición habiendo dejado de ser el oscuro arte que alguna vez fue. Es ahora realista esperar que las mediciones acústicas estarán representadas con objetivos límites de confianza, y no simplemente como un número que sólo un acústico puede entender.

Todo esto estuvo claramente reflejado en el simposio de Aberdeen. No se consumió mucho tiempo en los temas relativos a instrumentos o acerca de lo que significan las mediciones acústicas o en cómo se relacionan éstas con otros métodos de estimación de biomasa de peces. El énfasis está ahora centrado

sobre las estrategias de evaluación y en las sofisticadas técnicas de procesamiento para la extracción de información acerca de los animales acuáticos y su medio ambiente. Se asistió a exposiciones a escalas de plancton individual o acerca de la estructura de grandes agregaciones de peces.

Acústica del plancton

Aunque el plancton ha sido acústicamente estudiado por muchos años, el crecimiento en importancia de este campo es ahora evidente. Hay un gran número de contribuciones cubriendo tanto al pequeño zooplancton como al micronecton, lo que indica un continuo y sano interés en esta disciplina.

De la reunión de Aberdeen, se pueden rescatar tres temas notables. Primeramente, hay suficiente comprensión de la dispersión acústica provocada por el plancton como para concluir que las regresiones tradicionales usadas en acústica pesquera no constituyen adecuados descriptores de la relación existente entre la reflectividad acústica y la abundancia, tamaño, especie, género y comportamiento del plancton. En segundo lugar, la instrumentación acústica debe muestrear el plancton empleando alta resolución y con un ancho de banda amplio de manera de poder obtener información útil. En tercer lugar, está claro que el complejo campo sonoro dispersado por el plancton contiene información que, adecuadamente entendida, puede conducir a obtener estimados útiles de la abundancia, además de otros parámetros biofísicos. En por lo menos algunos casos, la clasificación de los blancos podrá ser mejorada a través de la combinación de los datos acústicos con la información del medio ambiente y del comportamiento del pez.

El sistema para la determinación de corrientes en base a perfiles acústicos doppler (ADCP: Acoustic Doppler Current Profiler)

Una importante contribución confirma que se requiere un cuidado excepcional cuando se manipula artefactos para la medición de la retrodispersión acústica empleando ADCP, en especial si se trata de estimar biomasa. Varios investigadores han sugerido que datos útiles acerca de la distribución de plancton, micronecton y peces mesopelágicos pueden ser obtenidos con un ADCP, pero el esfuerzo para hacer las correcciones necesarias están lejos de ser triviales. El análisis de datos provenientes de retrodisper-

sos ADCP debe tener en cuenta el hecho de que las observaciones representan efectos combinados de cambios en la abundancia y en el tamaño. Queda por saber si esta complicación en interpretar datos de ADCP permitirá realizar estimaciones útiles de la biomasa de plancton o micronecton.

Aplicaciones en limnología

Es gratificante comprobar que el uso de métodos acústicos en limnología está madurando rápidamente. Algunas exposiciones en Aberdeen han descrito sofisticados estudios de ecosistemas empleando la acústica como herramienta. Como ésta es una disciplina relativamente joven, es alentador contemplar que la mayoría de los investigadores de este campo no necesitan lidiar con problemas de instrumentación tal y como era en los primeros años. El uso de la acústica en limnología es potencialmente alto, ya que su aplicación a pesquerías comerciales y hasta deportivas podrían tener un impacto positivo en el largo plazo sobre toda la comunidad. Hay una importante relación en nuestra contribución hacia una efectiva evaluación para la protección de los recursos limnológicos.

Ruido de buques

El efecto de ruido irradiado por buques de investigación pesquera sobre los resultados de una evaluación ha sido recientemente considerado por un Grupo de Trabajo del ICES. La conclusión es clara: los diseñadores de buques de investigación pesquera deben dar prioridad al problema del ruido irradiado. El asunto no resuelto es si los constructores de buques científicos se esforzarán por darle la debida atención a este tema.

El futuro

Hay importantes tópicos que permanecen irresueltos. Se requiere resolverlos para poder desarrollar todo el potencial de la acústica pesquera y del plancton.

Fuerza de blanco

La reflectividad acústica de peces y plancton es un tema de continuo interés. Para el propósito de evaluación de biomasa, tenemos ahora una cabal comprensión de lo que significa la Fuerza de Blanco y la manera de estimarla. Cuidadosos experimentos de

fuerza de blanco permiten una razonable confianza en los resultados de las evaluaciones acústicas, particularmente para stocks comunes o monoespecíficos. El Grupo de Estudio del ICES-FAST en el tema de la metodología de la Fuerza de Blanco está haciendo una valiosa contribución, pero creemos que su trabajo es sólo un primer paso en el largo camino de la bioacústica. Muchos problemas permanecen sin solución, en relación con la dependencia de la fuerza de blanco en función del comportamiento del pez y su medio ambiente. En particular, el reconocimiento de una emisión simple al interior de una múltiple es un asunto aun no resuelto. Esta es una cuestión que no está recibiendo la atención necesaria, a pesar de los esfuerzos que se vienen haciendo, pero está claro que se requiere un esfuerzo adicional y capacitación del usuario.

No es una proposición práctica medir la reflectividad acústica en todas las frecuencias, en todas las condiciones fisiológicas, circunstancias ambientales o en comportamientos que puedan ocurrir en el campo. Una solución completa depende de poseer una capacidad predictiva basada en el uso del sonido o en la comprensión cabal de las condiciones antes mencionadas. Sin embargo, el conocimiento actual acerca de la formación de los ecos de acuerdo a los antiguos principios es insuficiente como para predecir la fuerza de blanco de especies del plancton o del necton. Debemos pugnar por lograr tal capacidad basados en la morfología, fisiología y comportamiento del animal, además de la física de la formación de ecos. Hacer esto de una manera apropiada y útil es una de las más críticas tareas para la acústica pesquera y del plancton. Ello requerirá pensamientos innovadores y modelos matemáticos a un nivel de detalle que no hemos aún logrado en nuestro campo, además de nueva metodología para la validación de los resultados del modelaje. Las variadas habilidades requeridas para esta tarea significa que es indispensable un esfuerzo cooperativo.

Identificación de especies

Este es el gran reto de la acústica pesquera y del plancton. No podrá ser cumplido sólo mediante el uso de la acústica, pero no podrá ser cumplido sin ella. Toda la información disponible deberá ser integrada en nuevos procedimientos analíticos, los cuales harán cálculos probabilísticos de acuerdo a la causa específica de los registros extraños en las pantallas de sonares y ecosondas.

A despecho de la disponibilidad de un importante conjunto de herramientas analíticas, creemos que estas ayudas para el procesamiento de datos no pueden resolver con éxito el problema de la identificación de especies sin proporcionar algoritmos con mejores capacidades de discriminación que ya son disponibles en el presente. En general, existen técnicas de evaluación que no miden muchas de las características que son necesarias para una precisa identificación de los blancos. En el caso más general, puede ser improbable extraer una buena clasificación desde un sensor acústico optimizado para evaluación de biomasa. Un teorema bien establecido en teoría de información sostiene que la capacidad de transmitir información en un canal de comunicaciones depende del ancho de banda del mismo. Por ello, la tendencia hacia el uso de sistemas de banda ancha seguramente será una mejora fructífera.

Incrementando el ancho de banda en el procesamiento de la señal acústica se logra el potencial de lograr la más grande resolución con un sensor acústico. En esencia, se mejora la habilidad de distinguir los elementos individuales dentro de un cardumen y quizá hasta las partes componentes de animales individuales. La información así derivada provee detalles para poder examinar la estructura, forma, movimiento emisión tras emisión, y distribución a escala fina. Adicionalmente al incremento de resolución existen otras dimensiones a ser exploradas, tales como el análisis espectral de los ecos usando el efecto Doppler para obtener información del comportamiento y movimientos del blanco.

Esta es sólo una lista parcial de las *formas de clasificación* que eventualmente permitirán desplegar todo el potencial de los métodos acústicos. Los investigadores no deben impacientarse de la, algunas veces, limitada aplicabilidad de sus avances al intentar usar técnicas de discriminación provenientes de otras disciplinas. Su eventual éxito dependerá de su habilidad para formular eficientes, acústicamente derivados y bien concebidos discriminantes para efectuar la clasificación. Restar atención a esta área significará continuar con el "esto sí, esto no". Estamos al comienzo de un largo camino hacia la identificación plena de peces y de plancton por medios acústicos. Logrando buenos discriminantes adquiriremos la habilidad, con mayor precisión y con límites estadísticos confiables, de lograr una buena determinación de la identidad de los registros acústicos.

Computación e instrumentación

Muchos de los desarrollos tecnológicos han dependido del abaratamiento de las computadoras, las cuales son ahora mucho más poderosas que las que existían en el mercado hasta hace sólo unos años. El poder de procesamiento de las computadoras modernas ha tenido una influencia notable en la investigación científica en general, y los beneficios para la hidroacústica no ha sido menor que en otras disciplinas. El poder de la computación ha conducido la evolución de ecosondas y sonares que ahora muestran más información acerca de lo que hacen, y hasta los instrumentos acústicos más modernos son ahora más simples de operar gracias a la asistencia de microprocesadores que permiten tener en pantalla un conjunto de menús o ayudas en línea y todo lo demás. El almacenamiento de datos provenientes de evaluaciones acústicas pueden ser almacenados en cantidades de gigabytes, lo que permite el post-procesamiento de los resultados lo cual era imposible hasta no hace mucho tiempo. De otro lado está el riesgo de confiar demasiado a la computadora que deberá siempre requerir la intervención humana. Las computadoras son tan buenas como el programa que las controla, y los programas son tan buenos como la gente que los creó. Pueden ocurrir errores en el software de la computadora y las consecuencias pueden ser desastrosas, por decir lo menos. Es esencial crear procedimientos con intervención humana para asegurar que los datos que llegan a la colección automática de información se haga en forma correcta. Pasará tiempo antes de que la mayor parte de las evaluaciones acústicas puedan hacerse bajo el control de una máquina, pues nos parece que tal desarrollo está aún lejano.

Los comentarios hechos en los primeros párrafos de este documento acerca de las calibraciones está referida solo a la instrumentación convencional. Anticipamos que las nuevas técnicas de investigación traerán nuevos retos para la calibración. Los sistemas que se diseñarán para resolver óptimamente los problemas, tales como la detección dentro del campo cercano o la clasificación de blancos no necesariamente tendrán las mismas características de aquellos que se intenta aplicar hoy en día. Vislumbramos desarrollos para la próxima década basados en las transmisiones de banda ancha o codificada, ordenación paramétrica y el uso de frecuencias mucho más altas y mucho más bajas que las que se emplean actualmente. Con posteriores avances en la electrónica y en el procesamiento computacional,

nuevas clases de sistemas multi-frecuencia y multi-beam estarán disponibles para el trabajo rutinario a un costo razonable. Los estándares de medición, así como la definición de los parámetros aplicables a la acústica submarina puede necesitar refinamientos y extensiones en la medida en que sean creados sistemas más especializados.

La educación en la acústica pesquera: la próxima generación

Hay un incremento en la demanda por el componente acústico en los estudios de ecosistemas que involucran a peces y al plancton. Esto sugiere que los programas educativos en lo referente a su conducción y a su práctica debe ser mejorada. Sin embargo, debe ser esencial para los educadores considerar que la actual "capacidad de conducción" debe ser realista antes de entrenar a un gran número de gente para un empleo que después no se va a poder materializar.

En adición al personal necesario para las tradicionales campañas de evaluación de recursos será necesario reclutar físicos, acústicos e ingenieros innovadores, dentro de la comunidad de investigadores, para poder lograr nueva instrumentación para los estudios relativos a las pesquerías y al plancton. La asistencia de muchos académicos al Simposio de Aberdeen es un alentador síntoma del interés en nuestra disciplina científica.

La acústica pesquera y del plancton está caracterizada por una cuidadosa, inteligente, innovadora y sofisticada comunidad de usuarios que provee sus valiosos servicios a la comunidad del ICES y otros clientes. Esta comunidad debe realizar la investigación básica para la concepción y desarrollo de nuevas técnicas para el futuro. La clave para el progreso es la sangre nueva con nuevas ideas.

El Simposio de Aberdeen atrajo a un número significativo de nuevas, entusiastas y jóvenes caras. Ellos han presentado valiosas contribuciones científicas. Ellos constituirán la nueva generación de acústicos pesqueros. Es probable que muchos de los de nuestra generación pronto desearán una vida más pacífica en la que no están incluidos los largos meses en el mar en medio de malas condiciones ambientales. Pero nuestra responsabilidad permanece porque debemos entrenar a los jóvenes científicos alentándolos a perseguir el desarrollo de la acústica pesquera y de los temas que se relacionan con ella. Puede ser que el más importante resultado del Simposio de Aberdeen haya sido contribuir a tal fin